

ビーム導波系の中空ビーム・モードに関する研究

著者	野坂 光信
号	226
発行年	1969
URL	http://hdl.handle.net/10097/8962

氏 名 (本籍)	野 坂 光 信 (北海道)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 2 2 6 号
学位授与年月日	昭和 4 5 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専門課程	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 電気及通信工学専攻
学 位 論 文 題 目	ビーム導波系の中空ビーム・モードに関する研究

(主査)

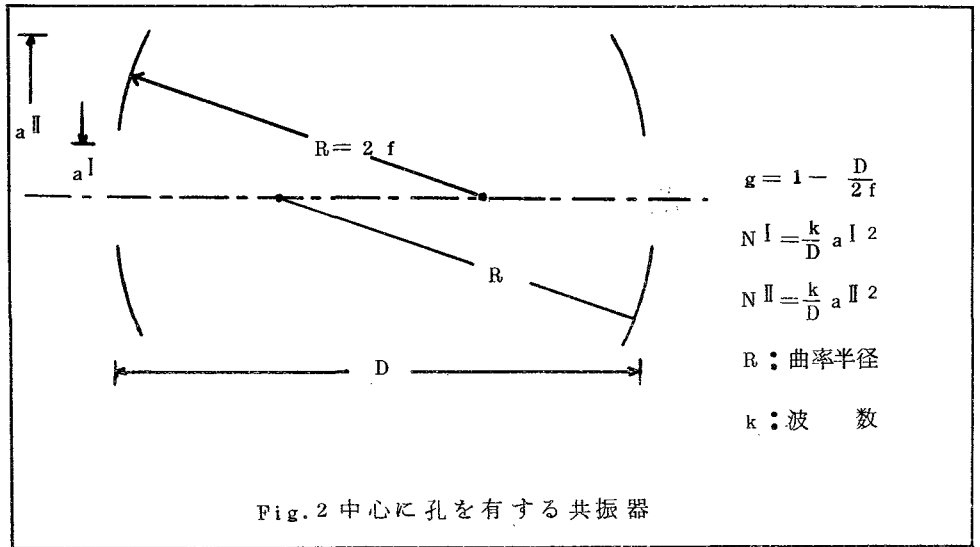
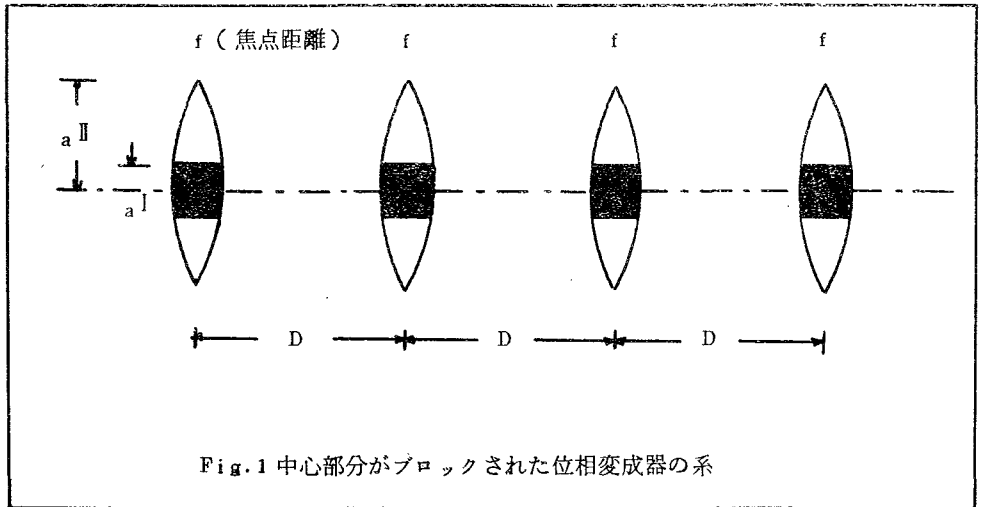
論文審査委員	教 授 西田 茂穂	教 授 虫明 康人
	教 授 上領 香三	助教授 米山 務

論 文 内 容 要 旨

誘電体レンズあるいは光学レンズのような位相変成器が伝送方向に一定間隔、周期的に配列されている系には、一定の定数を省略して各位相変成器間で繰り返し、互に直交する界即ちモードと称されるものが存在するが、従来迄の研究は低回折損失を得るという立場から解析は主として伝送軸の近くに電磁波のエネルギーが集中しているモードに限定されていた。本論文では系の Fresnel を数を容易に大きく得ることの出来るサブミリ波あるいは光波領域に於ける新しいビーム波伝送方式として、伝送軸の近傍に小さなエネルギー分布を有する中空ビーム・モード伝送を提案し、このモードに対する基礎的事項を解明しようとするものである。

第 1 章は緒論であって、ビーム・モード伝送解析の現状、研究の意義、研究結果の応用等について

述べている。第2章ではビーム・モードに対する積分方程式をMaxwellの基本方程式より誘導している。中空ビーム・モードを得る為には位相成器の中央部分をFig. 1のように適当な大きさだけ完全吸収体でブロックする必要がある。ところでこの系に存在する繰り返しビーム・モードは、中央部分に孔を有するFig. 2のような共振器に存在するモードとも同じであるので解析はこの共振器について行なっている。



共振器面上のモード関数を $\phi_{rm}^{(+)}(\xi)$ とすれば

$$(1) \quad q_m^{(+)} \phi_{rm}^{(+)}(\xi) = \int \frac{\sqrt{N_{II}}}{\sqrt{N_I}} J_{m \pm 1}(\xi \xi_0) e^{-jg\xi_0^2} \phi_{rm}^{(+)}(\xi_0) \xi_0 d\xi_0$$

なる積分方程式が成立する。⁽⁴⁾ q_m は回折損失を表わし、 N^I, N^{II}, g はそれぞれ孔の Fresnel 数、共振器の Fresnel 数及び共焦点パラメータである。 ξ は系のスポット・サイズで規格化した半径距離である。座標系は円柱座標を採用し、 m は界の角度依存を表わす量である。第3章では孔を有する無限に大きな共振器のモード及び積分方程式の解法について述べている。以後の解析を容易にすること、及び物理像を明瞭にすることの為に積分核を中央部に孔がなく、無限に大きな共振器のモード関数(素ビーム・モードと呼んでいる)で展開する方法をとっている。中央部分に孔を有する無限に大きな共振器のモードに対しては解析的な表示は得られていないので、数値実験的手法を用いている。共焦点系直線偏波ビーム・モードについて解析を行なっているがビーム・モードとしては繰り返しの定常状態界分布として定義している。共振器面上に於ける界分布、スペクトラム、回折損失等を明らかにしているが、特にこの共振器には回折損失零なる縮退しているモードが存在するということが重要な結論である。第4章に於ては、有限の大きさで中央に孔を有する共焦点系共振器のモードについて、第1節では直線偏波ビーム・モード、第2節では放射状偏波(あるいは全く等価な円周状偏波)ビーム・モードについて回折損失、モード・パターン、スペクトラム等を明らかにしている。Fig. 3に代表的な例として、直線偏波ビーム・モードの損失曲線を示す。放射状偏波の場合についても同じ傾向の曲線が得られるが、共振器の Fresnel 数のある値の範囲で放射状偏波のビーム・モードの方が回折損失が小さくなることが明らかにされた。これは実際のビーム伝送の問題に於てはきわめて重要な点である。Fig. 3で明瞭に差異のある損失機構についても、モード・パターン及びスペクトラムを用いて詳しく考察している。第5章に於ては共焦点系に於ける低損失モードのビーム特性を、第1節では直線偏波ビーム・モードについて、第2節では放射状偏波ビーム・モードについて述べている。低損失の場合には共振器面で殆んど中空である直線偏波ビーム・モードは共振器の中間区間の領域では伝送軸の近傍付近にエネルギーが集中してしまうが、中空である領域は全区間のほぼ半分であるという結果が得られた。第3節では中央がブロックされた位相変成器の系からの遠方放射界を求めている。ブロックする部分の大きさを変化させることによって、ビーム幅、サイドローブ・レベルを変えることができる。即ちブロックする部分を大きくすることによって、細いビーム幅をもつビームを得ることができる。第6章では非共焦点系共振器のモードについて議論しており、第1節、第2節でそれぞれ直線偏波ビーム・モード、放射状偏波ビーム・モードの損失曲線、モード・パターン等を求めている。Fig. 4に放射状偏波非共焦点系ビーム・モードの損失曲線を示す。非共焦点系になることによって損失は急激に増加し、また共焦点パラメータの特別な値に対し回折損失が極小となる特異な現象が生じる。この現象につ

いても本論文ではスペクトラムを用いて説明している。一般的に非共焦点系に於ける伝送は、直線偏波ビーム・モードを使用するのは好ましくないというのが一つの結論である。第7章は非共焦点系に於ける低損失モードのビーム特性を放射状偏波のモードについて明らかにしている。共焦点系の場合とのビーム特性の差異についても述べている。第8章は実験的に理論の正当性を確認している。孔を有する共振器は真鍮製であり、曲率半径 700 mm の球面鏡である。孔の半径 22 mm 、共振器の半径 140 mm に設計され、周波数は 35 GHz 帯で行ない、偏波の状態は放射状偏波と全く等価な円周状偏波で行なっている。Fig. 5 に測定にブロック・ダイアグラムを示している。

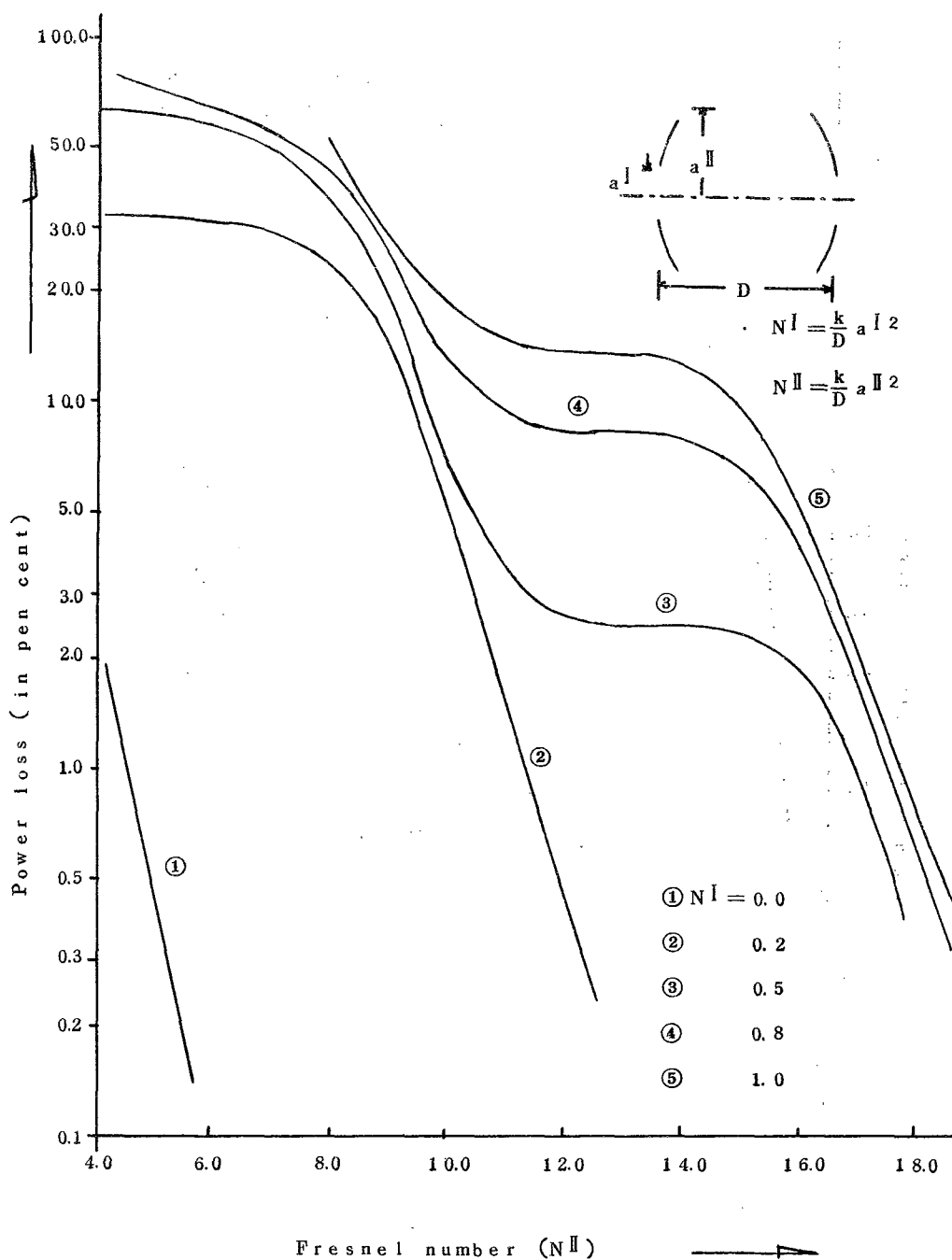


Fig. 3 損失曲線(直線偏波共焦点系ビーム・モード) 縦軸は電力損失をパーセントで示す。

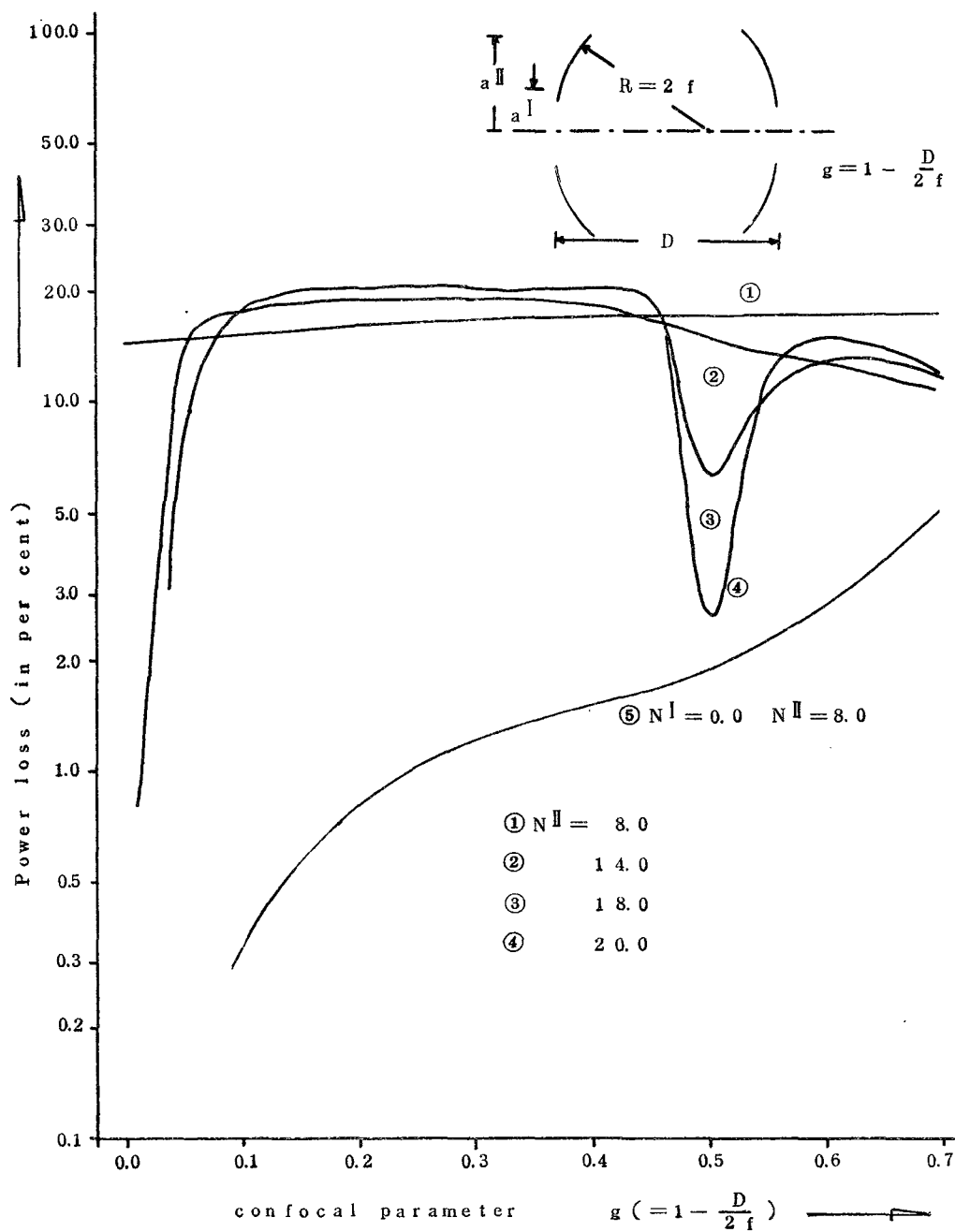


Fig. 4 損失曲線（放射状偏波非共焦点系ビーム・モード） 縦軸は電力損失をパーセントで示す。但し、 $N^I = 0.5$

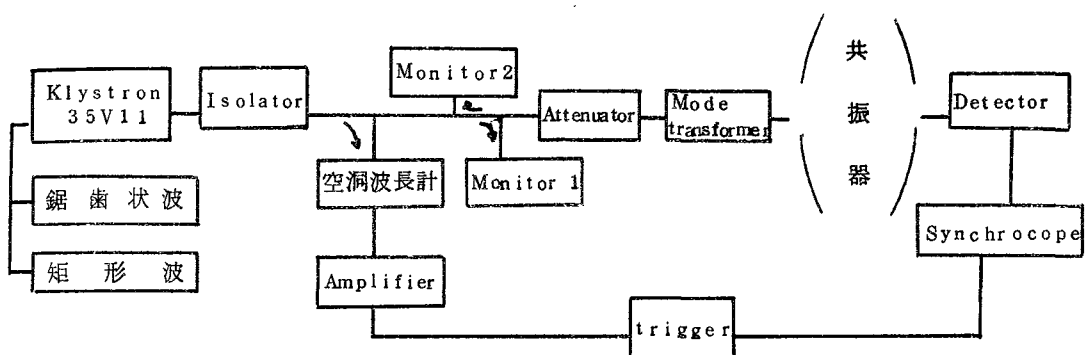


Fig. 5 測定ブロック・ダイアグラム

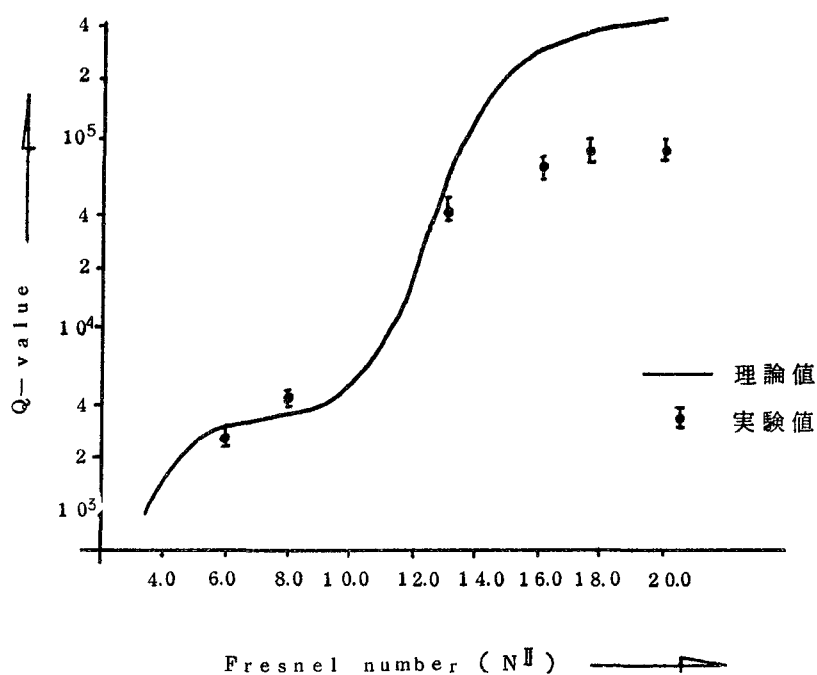


Fig. 6 円周状偏波に対する共焦点共振器のQ $N_I = 0.5$

Fig. 6に理論値の回折損失より求めたQ値と実験値とを比較して示している。実験精度及び鏡面の曲率半径の微小なずれ，あるいは共焦点系からのわずかなずれ等を考慮してみる時，実験値と理論値は良く一致していると考えられる。また共振器面上の界分布を吸収体法によって測定しているが傾向は一致している。第9章では中空ビーム・モード伝送とその問題点について触れ，いたるところ中空であるビーム・モードを実用する上で直線偏波は不適當であることを指摘している。第10章は結言であって，得られた主要な結果について述べている。

審 査 結 果 の 要 旨

ビーム導波系はミリメートル波から光波に至る広い帯域で利用される実用的価値の高い優れた低損失伝送路の一つである。従来のビーム導波系は伝送の方向に適当な大きさの位相変成器（誘電体レンズ、反射鏡等）を適当な間隔で周期的に配列したもので、ここに存在する低損失の繰返しビーム・モードは中心部に最も大きな伝送エネルギーをもつもので、これに関する研究はかなり進んでいる。著者の扱った導波系は中心部に円孔のある位相変成器の配列で、このような構造の導波系に低損失なビーム・モードが存在するかどうかは未知であった。

著者はこの導波系に中空状の低損失ビーム・モードが存在し、これが従来のビーム・モードと異なった特徴をもつことを明らかにした。この新しいモードの利用は新しい伝送路の開発を示唆している。

本論文はこの結果をまとめたもので10章よりなっている。

第1章は緒論である。

第2章は中心部に円孔のある位相変成器列において、直線状偏波および放射状偏波（又は円周状偏波）の繰返しモードが満足すべき積分方程式を与えたものである。

第3章は低損失モードの存在を見出すために行なった研究の結果を示したもので、中心部に円孔のある無限の拡がりをもつ位相変成器の共焦点配列に、損失の殆んど無い固有のモード群の存在を数値的実験的に見出し、その代表例が示されている。この章の計算には近似度を高くするための工夫が随所に見られる。

第4章は位相変成器の拡がりを有限にした共焦点配列に存在する最低損失の固有モードについて、その電磁界分布および変成器の大きさと損失の関係を詳細に論じたものである。ここには変成器の大きさの変化に対し損失の停留状態が存在することおよび放射状偏波（又は円周状偏波）モードの優れた低損失特性が強調されており、これらの従来のビーム・モードと異なった新しい知見である。

第5章はビーム・モードのビーム特性について論じたもので、特に伝送方向に対する中空状の界分布の変化について詳述している。

第6章は位相変成器の非共焦点配列について、第4章の結果がどのように変化するかを示したもので、ここにも従来と異なった新しい現象が見出されている。

第7章は前章の導波系におけるビーム特性を論じたものである。

第8章は実験結果を示したもので、中空ビーム・モードの存在を実験的に証明している。

第9章は今後の問題点を論じたものである。

第10章は結言である。

以上を要するに本論文は中空ビーム・モードの存在を見出し、その特性を明らかにして新しい知見を加え、新しい伝送路の開発を示唆するもので、電波工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。